

**A CERES modell továbbfejlesztése**  
**I. A Richards-egyenlet beépítése után, összehasonlítás az**  
**eredeti változattal**

<sup>1</sup> FODOR NÁNDOR, <sup>1</sup> KOVÁCS GÉZA J. és <sup>2</sup> KARUCZKA ANTAL

<sup>1</sup> MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest és  
<sup>2</sup> Debreceni Egyetem Karcagi Kutatóintézet

A szimulációs növénytermesztési modellek a növény–talaj–légkör rendszer folyamatait különböző függvényekkel, illetve azokból felépülő eljárásokkal írják le. Ezen eljárások egy része a „modellezett” növény fejlődését és növekedését, más részük a talajban történő vízmozgást (vízmozgás-eljárások), megint más részük pedig a rendszer többi folyamatát írják le. Mire a hetvenes években az első növénytermesztési modelleket megalkották, a talajban – mint porózus közeg-ben – történő vízmozgás elméletét már kidolgozták.

DARCY (1856) és BUCKINGHAM (1907) munkája nyomán RICHARDS (1931) állította fel azt a differenciálegyenletet, amely a talajban történő vízmozgást térben és időben leírja. A Richards-egyenletnek nincs analitikus megoldása. Speciális perem- és kezdeti feltételek mellett is csak a század második felében sikerült kvázi-analitikus megoldását adni (PHILIP, 1957; PARLANGE, 1971). Ezek a megoldások csak időben állandó határfeltételek mellett, és homogénnek tekintett talajokra érvényesek. Mivel ezek a feltételek szabadföldi körülmények között ritkán teljesülnek, a kvázi-analitikus megoldásokat növénytermesztési modellekben nem alkalmazzák. A Richards-egyenlet növénytermesztési modellekben is használható, ún. numerikus megoldását először HANKS és BOWERS (1962) adták meg. Azóta a numerikus módszerek számos formája látott napvilágot (HAVERKAMP et al., 1977). Az első növénytermesztési modellekben azonban mégsem a Richards-egyenlet numerikus megoldását használó vízmozgás-eljárásokat alkalmazták, egyrészt a hosszú futási időt eredményező bonyolult számítások miatt (1. táblázat), másrészt a sok, nehezen meghatározható bemenő adat miatt (VAN DAM et al., 1992). A növénytermesztési modellekbe sokáig a *kapacitív* típusú vízmozgás modellek valamelyik változatát építették be.

[A *kapacitív* modellek: A talaj rétegeit víztároló edényekként fogja fel, amelyek a fizikai jellemzőiktől (telítési vízkapacitás, telítési vízvezető képesség, szántóföldi vízkapacitás)

és telítettségüktől függően a beléjük áramló vízből változó mennyiséget eresztenek tovább, illetve tárolnak el (JONES & KINIRY, 1986). Ha nincsen csapadék, akkor egy adott rétegből, a rétegre jellemző szántóföldi vízkapacitás fölötti vízmennyiség egy bizonyos hányada távozik (drén), és jut a következő rétegbe. Csapadék esetén, az eső- és/vagy öntözővíz beszivárgó része a legfelső rétegbe kerül. Ha egy rétegbe beáramló víz több, mint amit a réteg képes befogadni, a réteg telítődik, a fennmaradó vízmennyiség és a réteg drénje, a következő rétegbe áramlik.]

Ezek kevesebb és egyszerűbben meghatározható bemenő adattal és jóval kevesebb számítással, de még mindig elég pontosan képesek leírni a modellezett talajszelvény vízforgalmát (JONES & KINIRY, 1986; VAN LAAR et al., 1992; SUPIT et al., 1994). Azóta a számítógépek több nagyságrenddel gyorsabbak lettek. A növénytermesztési modellek nagy része azonban még mindig az egyszerűbb vízmozgás-eljárásokat használja; egyrészt mert ezeket még mindig könnyebb bemenő adattal ellátni, másrészt sok esetben kielégítően írják le a talaj vízforgalmát.

Azok a modellek azonban, amelyek a Richards-egyenlet numerikus megoldását alkalmazzák a talaj vízforgalmának leírására általában elnagyoltan foglalkoznak a modellezett rendszer növényi összetevőjével. Ezért tűnt biztatónak az az elgondolás, hogy egy olyan modellbe, amely világviszonylatban is elismerten jó a növényi jellemzők leírásában, de egyszerű vízmozgás-eljárásokat használ, beépítsünk egy olyan új eljárást, amely lehetővé teszi, hogy a modell a Richards-egyenlet numerikus megoldását használja a vízmozgás leírására. A J. T. Ritchie vezetésével kifejlesztett CERES modellt választottuk, egyrészt azért mert nemzetközi (JAMIESON et al., 1998) és hazai (KOVÁCS et al., 1995; NÉMETH, 1996) vizsgálatok bizonyították ezen modell hatékonyságát, másrészt mert ezen modell forráskódja elérhető volt számunkra a módosítás elvégzéséhez. Számos kísérleti eredménnyel való összevetés bizonyítja, hogy a Richards-egyenlet numerikus megoldásai jól írják le a talaj vízforgalmát (GIESEL & RINGER, 1973; HAVERKAMP et al., 1977). Célunk az volt, hogy az új rutin beépítésével képessé tegyük a modellt néhány vízmozgással kapcsolatos probléma megvizsgálására. Magának a vízmozgásnak az ellenőrzése még további méréseket igényel. Addig is kisparcellás kísérleti adatokon ellenőrizni akartuk, hogy az új vízháztartási szubrutin nem rontja-e el a már eddig elég jó modellezési eredményeket olyan kísérletekben, amelyekre az eredeti modell már validálva volt.

### Anyag

Az eredeti CERES vízmozgást leíró eljárását tekintve, kapacitív szemléletű. A CERES módosításakor a modell vízmozgást leíró programrészletét kicseréltük egy olyanra, amely a Richards-egyenlet numerikus megoldását valósítja meg. A módosított CERES segítségével lehetővé vált az alábbi modellezési problémák megvizsgálása:

1. Mennyiben módosítja a növénytermesztési modell számításainak eredményeit, ha a méréssel meghatározott pF-görbe paraméterei helyett ún. pedotranszfer függvényekkel megbecsült paramétereket adunk meg bemenő talajadatként? Mivel a pF-görbe pontjainak kimérése hosszadalmas és költséges, számos olyan munka született, amelyekben egyszerűen mérhető talajjellemzők felhasználásával – *pedotranszfer függvények* segítségével – becsülik meg a  $\Theta(h)$  függvény paramétereit (ARYA et al., 1981; RAJKAI et al., 1981; SAXTON et al., 1986; WÖSTEN et al., 1998; RAJKAI & KABOS, 1999). [*Pedotranszfer függvények*: Olyan, általában statisztikai, függvények (regressziós egyenletek), amelyek segítségével a víztartó és vízvezetőképesség függvények paraméterei, vagy egyes értékei, egyszerűen mérhető talajjellemzők, mint független változók, felhasználásával megbecsülhetők.] Közleményünk második részében (FODOR et al., 2001) ezzel a problémával foglalkozunk.

2. Mennyiben módosítja a növénytermesztési modell számításainak eredményeit, ha a modellezett talaj vízforgalmának leírásában a hiszterézist figyelembe vesszük? A talajok víztartó képességének hiszterézise már a század első felében ismert volt (HAINES, 1930). Azt tudjuk, hogy a hiszterézis jelensége befolyásolja a talaj vízforgalmát (DANE & WIERENGA, 1975), de vajon mennyire jelentős ez a hatás a növénytermesztési modellek szempontjából?

3. A Richards-egyenletből gyakran elhagynak egy tagot, amely a hőmérséklet gradiens hatására létrejövő vízmozgást írja le. A CERES módosított változatának segítségével kimutatható, hogy mennyiben különböznek a modell eredményei attól függően, hogy a Richards-egyenletben a fent említett tagot elhagyjuk vagy sem.

4. Mennyiben különböznek a modell eredményei attól függően, hogy a talaj víztartó és vízvezető képességének leírására milyen alakú függvényt választunk. A talaj víztartó és vízvezető képességének leírására különböző alakú függvényeket használhatunk. Leggyakrabban a BROOKS és COREY (1964), illetve a VAN GENUCHTEN (1980) által leírt függvényeket alkalmazzák.

5. Lehetővé vált egy sor gyakorlati kérdés vizsgálata is a CERES modell segítségével; úgymint a vízemeléssel kapcsolatos problémák: a sómozgás, szikesedés, a gyökérzóna vízutánpótlása a talajvízből, a nitrát bemosódása a talajvízbe stb.

Megvizsgáltuk, hogy a módosított változat mennyire modellezi jól a talajszelvény nedvességeloszlásának időbeli változását. A DE Karcagi Kutatóintézet 1. számú liziméterének (50, 90, 110 és 130 cm mélységben) neutronszondával mért talajnedvesség adatait használtuk fel egy olyan időszakból, amikor a talajon nem volt jelzőnövény (1992. II. 3.–V. 14.). A talajvíz 170 cm mélységben volt.

A modell eredeti és módosított változatának összehasonlítását NAGY (1997) debreceni kísérletének adatsorain végeztük el, melyre az alábbiak voltak jellemzők:

Év:	1989–1992
Fajták:	Kukorica (Dekalb 524, Volga, Pannónia)
Műtrágya:	kontroll, 120 kg N/ha, 240 kg N/ha
Egyéb kezelések:	nem öntözött/öntözött (1989-ben nem volt öntözés)
Talaj:	mészlepedékes csernozjom.

### Módszer

A CERES vízforgalmat leíró eljárásának módosításához kiindulásként RAJKAI (1984), VÁRALLYAY (1987), valamint VÁRALLYAY és munkatársai (1979) munkáit használtuk fel. A modell a Darcy–Buckingham egyenletből (1) indul ki, mely értelmében a talaj egy adott helyén az áramló víz pillanatnyi fluxusa ( $q$ ), az ottani összpotenciál ( $H$ ) gradiensének értékétől, és a vízvezető képességétől ( $K$ ) függ.

$$q = -K \cdot \nabla H \quad (1)$$

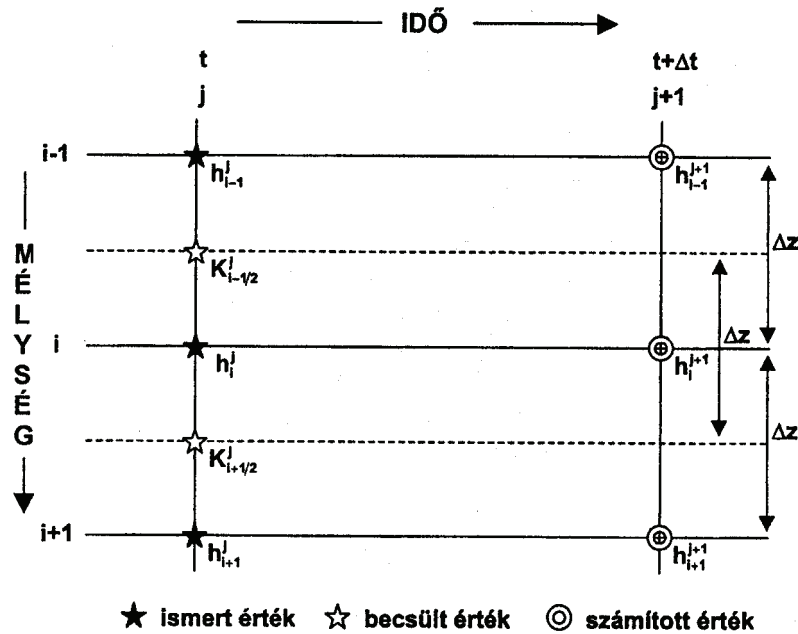
Ha a fenti egyenletet az anyagmegmaradás törvényével kombináljuk, a Richards-egyenletet kapjuk, amely a talaj adott pontjában történő nedvesség-változás időbeli változását írja le (KLUTE, 1952). Amennyiben pozitívnak vesszük a lefelé irányt, és csak a függőleges vízmozgást vesszük figyelembe, valamint feltételeztük, hogy az ozmózispotenciál és a mátrixpotenciál hőmérsékletfüggésének vízmozgásra gyakorolt hatása elhanyagolható a mátrix- és gravitációs potenciáléhoz képest (VÁRALLYAY, 1987; NASSAR & HORTON, 1997), a Richards-egyenlet az alábbi formát nyeri.

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K \cdot \frac{\partial h}{\partial z} + K \right) \quad (2)$$

ahol:  $\Theta$  = a talaj nedvességtartalma ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ),  $K$  = a talaj vízvezető képessége ( $\text{cm}/\text{nap}$ ),  $h$  = a mátrixpotenciál ( $\text{cm}$ ).

A (2) egyenlet megoldására, a számos numerikus módszer közül egy – a véges differencia elvén alapuló – sémát választottunk. A modellben a talajszelvényt vékony (5 cm vastag), homogénnek tekintett rétegekre osztottuk. Feltételeztük, hogy ezen rétegeken belül a nedvességeloszlás egyenletes. A nedvességtartalomból számított potenciálértékeket a rétegek mértani közepéhez rendeltük. Két szomszédos réteg határán a vízvezető képességet a két réteg potenciáljának ismeretében kiszámított vízvezetőképesség értékek (ld. 1. ábra, ill. (3) egyenlet) számtani közepével adtuk meg (VAN DAM et al., 1997):

$$K_{i-1/2}^j = \frac{K(h_{i-1}^j) - K(h_i^j)}{2} \quad (3)$$



1. ábra

A talajszelvény felbontása térben (index:  $i$ ) és időben (index:  $j$ ).  
 — a) a rétegek mértani középvonala; - - - b) a rétegek határvonala

A (2) egyenletből látható, hogy a modell működéséhez a  $h(\Theta)$  és a  $K(h)$  függvények ismerete szükséges. A  $h(\Theta)$  és  $K(h)$  függvényeket az alábbi alakban használtuk (MUALEM, 1976; VAN GENUCHTEN 1980):

$$\Theta(h) = \frac{\Theta_s}{(1 + (\alpha \cdot h)^n)^m} \quad m = 1 - 1/n \quad (4)$$

$$K(h) = K_s \cdot \frac{(1 - (\alpha \cdot h)^{n-1} \cdot (1 + (\alpha \cdot h)^n)^{-m})^2}{(1 + (\alpha \cdot h)^n)^{\frac{m}{2}}} \quad (5)$$

ahol: a  $\Theta_s$ ,  $\alpha$ ,  $n$ ,  $m$ ,  $K_s$  kísérletileg meghatározandó, vagy alapvető talajfizikai jellemzőkből (pl. szemcseméret-eloszlás, térfogattömeg) pedotranszfer függvények segítségével levezetett állandók.

A (4) és (5) egyenletek segítségével a kezdő nedvességtartalom ismeretében minden talajrétegben megadható a kezdeti potenciál ( $h_i$ ) illetve a szomszédos rétegek határán a kezdeti vízvezető képesség ( $K_{i\pm 1/2}$ ). Az alkalmazott numerikus séma meghatározott időközönként a (6) egyenlet segítségével kiszámítja az

adott talajréteg nedvességtartalmának megváltozását (HAVERKAMP et al., 1977):

$$\Theta_i^{j+1} - \Theta_i^j = \frac{\Delta t}{\Delta z} \cdot \left( K_{i-1/2}^j \cdot \left( \frac{h_i^j - h_{i-1}^j}{\Delta z} + 1 \right) - K_{i+1/2}^j \cdot \left( \frac{h_{i+1}^j - h_i^j}{\Delta z} + 1 \right) \right) \quad (6)$$

ahol: a  $j$  index a  $j$ . időköz elejét, az  $i$  index az  $i$ . réteg közepét, az  $i-1/2$  index pedig az  $i$ . és az  $i-1$ . réteg határát jelöli. A  $\Delta t$  időköz nagysága a modell működése közben változhat. Ha a talajprofilban gyors nedvességmovement indul meg (pl. egy nagy esőt követő beszivárgás) a  $\Delta t$  időköz automatikusan olyan kis értéket vesz fel, hogy ezen időköz alatt bekövetkező változás következtében egyik réteg víztartalma se vehessen fel irreális értéket (ürüljön ki vagy legyen nagyobb, mint a maximális vízkapacitás). Alapbeállítás szerint a  $\Delta t$  időközt 14 percre vettük.

A csapadék legfelső rétegbe történő beszivárgását az (1) egyenlet segítségével írtuk le. A  $\Delta t$  időköz alatt a talajba beszivárgó víz mennyisége ( $q_{be}$ ):

$$q_{be} = K_0^j \cdot \left( \frac{h_1^j}{\Delta z} + 1 \right) \quad (7)$$

ahol  $K_0^j = \frac{K_{SAT,1} + K(h_1^j)}{2}$ ,  $K_{SAT,1}$  a legfelső réteg vízvezető képessége teljes telítettség esetén (SIMUNEK et al., 1998).

A talajszelvényre vonatkozó peremfeltételt a talaj és a légkör határán minden napra az adott környezeti feltételeknek (csapadék, párolgás) megfelelően állítottuk be. A talajszelvény alján kétféle határfeltétel adható meg attól függően, hogy a szelvény talajvízhatás alatt áll (a legalsó réteg potenciálja rögzített attól függően, hogy a talajvíz milyen távolságban van a modellezett talajprofil aljától), vagy sem (a víznek szabad kifolyása van a talajprofil alján:  $\nabla H=0$ ). A két változat összehasonlításakor a második peremfeltételt alkalmaztuk.

A fentiekben leírt eljárást a CERES forráskódjába beprogramoztuk, majd valós mérési eredmények segítségével megvizsgáltuk, hogy a CERES módosított változata, az új vízmozgást leíró eljárással, működik-e legalább olyan jól, mint az eredeti változat. Az új változattól három dolgot vártunk:

- Kielégítő pontossággal írja le a vizsgált talajszelvény nedvességeloszlásának időbeli változásait.

- A megfigyelt növényi jellemzőkre a futások többségében pontosabb, vagy legalább olyan jó becslést ad, mint az eredeti változat.

- A számított és megfigyelt növényi jellemzők eltérésének várható értéke a módosított változat esetében kisebb lesz, mint az eredeti változat esetében.

A módosított változat működéséhez szükséges  $\Theta_s$ ,  $\alpha$ ,  $n$ ,  $m$  és  $K_s$  paramétereket a rendelkezésünkre álló talajadatokból – szemcseméret-eloszlás, térfogattömeg, szervesanyag-tartalom – határoztuk meg (CAMPBELL, 1985; RAJKAI & KABOS, 1999).

### Eredmények

A két modellváltozat futtatása során használt talajra vonatkozó input adatokat az 1–2. táblázatban foglaltuk össze. A módosított változat eredményei a vizsgált időszakban kielégítő egyezést mutattak a mért talajnedvesség adatokkal (2. ábra).

1. táblázat

#### A CERES eredeti változatának talajadatai

(1) Rétegvastagság (cm)	LL	DUL	SAT
	(cm <sup>3</sup> ·cm <sup>-3</sup> )		
15	0,127	0,263	0,469
15	0,139	0,275	0,451
15	0,115	0,251	0,469
15	0,115	0,251	0,486
30	0,107	0,243	0,503
30	0,105	0,241	0,503
30	0,109	0,208	0,503
30	0,112	0,233	0,486
30	0,105	0,241	0,486

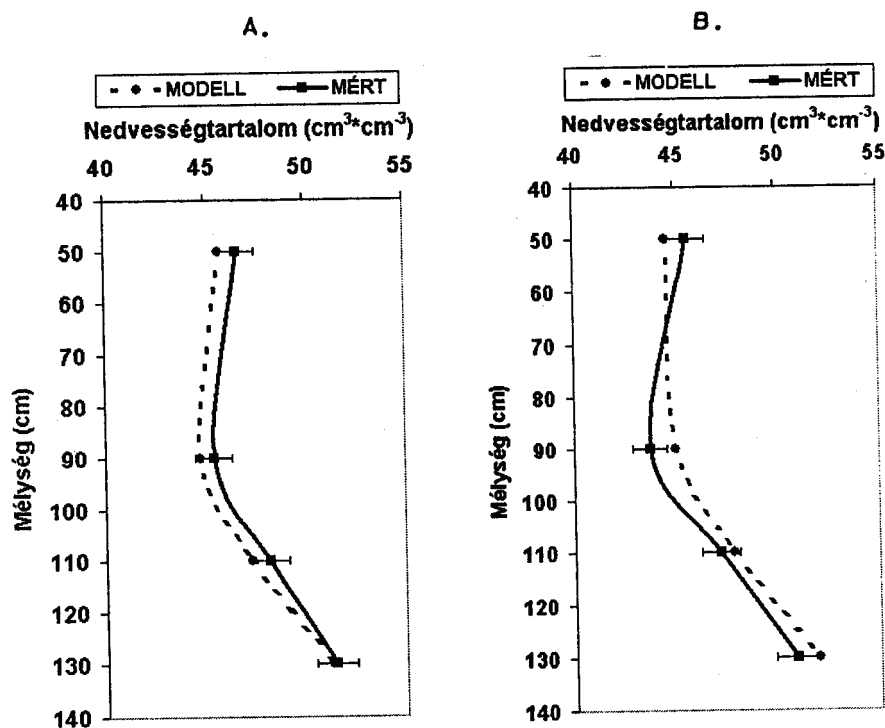
Megjegyzés: LL = holtvíztartalom, DUL = szántóföldi vízkapacitás, SAT = a telítési vízkapacitás

2. táblázat

#### A módosított CERES van Genuchten-féle víztartó képességi függvény paraméterei

(1) Rétegvastagság (cm)	$\Theta_s$ (cm <sup>3</sup> ·cm <sup>-3</sup> )	$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )	n	m	$K_s$ (cm·d <sup>-1</sup> )
15	0,469	0,0140	1,27	0,213	4,1
15	0,451	0,0110	1,29	0,225	3,0
15	0,469	0,0135	1,27	0,213	6,6
15	0,486	0,0140	1,29	0,225	8,0
30	0,503	0,0140	1,32	0,242	8,9
30	0,503	0,0125	1,34	0,254	8,3
30	0,503	0,0130	1,32	0,242	9,8
30	0,486	0,0110	1,36	0,265	10,0
30	0,486	0,0120	1,30	0,231	10,9

$K_s$  = hidraulikus vezetőképesség



2. ábra

A CERES módosított változata által számított (a) és a mért (b) talajnedvesség értékek (Karcag, 1. sz. liziméter). Nedvességheloszlás a 14. napon (A) ill. 73. napon (B)

A négy év, a három fajta, a három műtrágyaszint, illetve az öntözés lehetősége 252 különböző összehasonlító (modell-)futást jelentett. Mind a 252 futás során a CERES kimeneti adatai közül hármat figyeltünk: termés (kg/ha), egy szem tömege (g), illetve szemszám/m<sup>2</sup>. Az eredeti és a módosított változatok eredményeit összevetettük a megfigyelt értékekkel. Az összesített eredményeket a 3–4. táblázatban foglaltuk össze.

3. táblázat

Az eredeti és módosított CERES modell futási eredményeinek összehasonlítása  
252 futás alapján néhány növényi jellemző becslésében

(1) Növényi jellemzők	(2) 252 futásból a módosított CERES jobb (vagy azonos) mint az eredeti (%)
a) Termés (kg·ha <sup>-1</sup> )	71,4
b) Egy szem tömege (g)	64,3
c) Szemszám·m <sup>-2</sup>	73,8



## 4. táblázat

**A modellezett növényi jellemzők átlagos relatív eltérései a megfigyelt értékektől (252 futás alapján)**

(1) Növényi jellemzők	(2) A megfigyelt értékektől való átlagos relatív eltérések (%)	
	(3) módosított CERES	(4) eredeti CERES
a) Termés (kg·ha <sup>-1</sup> )	23,1	23,8
b) Egy szem tömege (g)	31,3	31,6
c) Szemszám·m <sup>-2</sup>	37,6	37,8

Megállapítható, hogy az új változat a kezelések többségében pontosabb becslést adott a megfigyelt növényi jellemzőkre, és az átlagos becslési pontosságot tekintve is jobbnak bizonyult, mint az eredeti változat.

### Összefoglalás

A CERES, a világon használt növénytermesztési modellek közül az egyik legjobbnak ítélt és legelterjedtebb. A talaj vízforgalmának leírására a rétegek maximális, szántóföldi és aktuális vízkapacitásán alapuló mérleg módszert használja. A kapilláris vízemeléssel nem számol, ezért talajvíz közelsége esetén nem használható.

A talaj vízforgalma modellezésének elméleti háttere már a múlt század első felében kidolgozásra került. Az elmélet által felállított differenciálegyenlet (Richards-egyenlet) numerikus módszerrel ma már reális idő alatt, kielégítő pontossággal megoldható. Ez a megoldás képes a talajvíz hatását is kezelni.

A CERES forráskódjában a vízforgalmat leíró részt egy numerikus módszerrel megvalósító kódrészlettel helyettesítettük. A CERES eredeti és módosított változatát – a növényi produkció szempontjából – valós mérési adatok segítségével összehasonlítottuk. A módosított modellváltozat ezen összehasonlítás alapján hatékonyabbnak bizonyult. Fentieken kívül a módosított változat alkalmas arra, hogy segítségével néhány modellezéssel kapcsolatos problémát megvizsgáljunk. Ezekről a későbbiekben számolunk be.

A tanulmány az Országos Tudományos Kutatási Alap támogatásával készült (T029217 és T032768).

**Irodalom**

- ARYA, L. M. & PARIS, J. F., 1981. A physico-empirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **45**. 1023–1030.
- BROOKS, R. H. & COREY, A. T., 1964. Hydraulic Properties of Porous Media. *Hydrology Paper 3*. Civil Engineering Dept. Colorado State Univ. Fort Collins.
- BUCKINGHAM, E., 1907. Studies on the Movement of Soil Moisture. U.S. Dept. Agr. Bur. Soils Bull. No. 38. Washington, D. C.
- CAMPBELL, G. S., 1985. *Soil Physics with Basic. Development in Soil Science 14*. Elsevier Science Publishers. Amsterdam–Oxford.
- DANE, J. H. & WIERENGA, P. J., 1975. Effect of hysteresis on the prediction of infiltration, redistribution, and drainage of water in a layered soil. *Journal of Hydrology*. **25**. 229–242.
- DARCY, H., 1856. *Les fontaines publiques de la ville de Dijon*. Dalmont. Paris.
- FODOR N. & KOVÁCS G. J., 2001. A CERES modell továbbfejlesztése II. A Richards-egyenlet parametrizálása mérések ill. pedotranszfer függvények segítségével. *Agrokémia és Talajtan*. **50**. 47–61.
- GIESEL, W. & RENGEL, M., 1973. Numerical treatment of unsaturated water flow equation: Comparison of experimental and computed results. *Water Resour. Res.* **9**. 174–184.
- HAINES, W. B., 1930. Studies in the physical properties of soil. V. The hysteresis effect in capillary properties, and the modes of moisture distribution associated therewith. *J. Agr. Sci.* **20**. 97–116.
- HANKS, R. & BOWERS, S. A., 1962. Numerical solution of the moisture flow equation into layered soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **26**. 530–534.
- HAVERKAMP, R. et al., 1977. A comparison of numerical simulation models for one-dimensional infiltration. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **41**. 285–294.
- JAMIESON, P. D. et al., 1998. A comparison of the models AFRCWHEAT2, CERES-Wheat, Sirius, SUCROS2, and SWHEAT with measurements from wheat grown under drought. *Field Crop Research*. **55**. 23–44.
- JONES, C. A. & KINIRY, J. R. (Eds.), 1986. *CERES-Maize. A Simulation Model of Maize Growth and Development*. Texas A&M University Press. College Station, USA.
- KLUTE, A., 1952. A numerical method for solving the flow equation for water in unsaturated materials. *Soil Sci.* **73**. 105–116.
- KOVÁCS, G. J., NÉMETH, T. & RITCHIE, J. T., 1995. Testing simulation models for the assessment of crop production and nitrate leaching in Hungary. *Agricultural Systems*. **49**. 385–397.
- MUALEM, Y., 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resour. Res.* **12**. 513–522.
- NAGY, J., 1997. Effect of tillage, fertilization, plant density and irrigation on maize (*Zea mays* L.) yield. In: *Soil, Plant and Environment Relationships* (Ed.: NAGY, J.) 33–44. Dept. Crop Production and Land Use, Debrecen Agricultural University.
- NASSAR, I. N. & HORTON R., 1997. *Heat, Water, and Solute Transfer in Unsaturated Porous Media: I - Theory Development and Transport Coefficient Evaluation*. (kézirat)

- NÉMETH T., 1996. Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete. Budapest.
- PARLANGE, J. Y. 1971. Theory of water-movement in soils: 2. One-dimensional infiltration. *Soil Sci.* **111**. 170–174.
- PHILIP, J. R., 1957. Theory of infiltration: 1. The infiltration equation and its solution. *Soil Sci.* **83**. 345–357.
- RAJKAI K., 1984. A talaj kapilláris vezetőképességének számítása a pF-görbe alapján. *Agrokémia és Talajtan.* **33**. 50–62.
- RAJKAI K. & KABOS S., 1999. A talaj víztartókéesség függvény (pF-görbe) talaj-tulajdonságok alapján történő becslésének továbbfejlesztése. *Agrokémia és Talajtan.* **48**. 15–32.
- RAJKAI K. et al., 1981. pF-görbék számítása a talaj mechanikai összetétele és térfogat-tömege alapján. *Agrokémia és Talajtan.* **30**. 409–438.
- RICHARDS, L. A., 1931. Capillary conduction of liquids in porous mediums. *Physics (NY)* **1**. 318–333.
- SAXTON, K. E. et al., 1986. Estimating generalized soil–water characteristics from texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **50**. 1031–1036.
- SIMUNEK, J., VAN GENUCHTEN, M. TH. & SEJNA, M., 1998. HYDRUS, model description. U.S. Salinity Laboratory. Cal., USA
- SUPIT, I., HOOLIJER, A. A. & VAN DIEPEN, C. A., 1994. WOFOST 6.0, model description. SC-DLO. Wageningen.
- VAN DAM, J. C., STRICKER, J. N. M. & DROOGERS, P., 1992. Inverse method for determining soil hydraulic functions from one-step outflow experiments. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **56**. 1042–1050.
- VAN DAM, J. C. et al., 1997. Theory of SWAP version 2.0. Dept. Water Resources. Wageningen Agricultural University. Wageningen.
- VAN GENUCHTEN, M. TH., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic properties of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **44**. 892–898.
- VAN LAAR, H. H., GOUDRIAAN, J. & VAN KEULEN, H., 1992. SUCROS2, model description. Wageningen Agricultural University. Wageningen.
- VÁRALLYAY GY. et al., 1979. A pF görbék matematikai leírása. *Agrokémia és Talajtan.* **28**. 15–38.
- VÁRALLYAY GY., 1987. A talaj vízgazdálkodása. Akadémiai Doktori értekezés. Budapest.
- WÖSTEN, H. et al., 1998. Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. *Geoderma.* **90**. 169–185.

*Érkezett: 2000. november 17.*

### Further Improvements in the CERES Model

#### I. Comparison with the Original Version after the Incorporation of the Richards Function

<sup>1</sup> N. FODOR, <sup>1</sup> G. J. KOVÁCS and <sup>2</sup> A. KARUCZKA

<sup>1</sup> Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest and <sup>2</sup> Research Institute of the Debrecen University, Karcag (Hungary)

#### Summary

The CERES model is one of the best and most widely used crop production models in the world. A balance method based on the maximum, field and actual water capacities of the layers is used to describe the water balance in the soil. However, it does not take into account capillary water movement, so it cannot be used for layers close to the groundwater.

The theoretical background for modelling the water balance of the soil had already been clarified in the early 20<sup>th</sup> century. Using a numerical method the differential function (Richards function) set up by the theory can now be solved with satisfactory precision within a reasonable length of time. This version is also capable of dealing with the effect of the groundwater.

The part of the CERES source code which describes the water balance was replaced with a section coding for a numerical method. The original and modified CERES variants were compared with the help of real crop production data. This comparison proved the modified model variant to be more efficient. In addition to the above, the modified version can also be used to study a number of problems involved in modelling. These will be reported in a later paper.

*Table 1.* Soil data of the original CERES model. (1) Layer thickness, cm. Note: LL = wilting percentage, DUL = field capacity, SAT = saturation water capacity.

*Table 2.* Parameters of the modified van Genuchten water retention capacity function. (1) Layer thickness, cm.  $K_s$  = hydraulic conductivity.

*Table 3.* Comparison of the results obtained for the estimation of a number of plant traits after running the original and modified CERES models a total of 252 times. (1) Plant trait. a) Yield, kg/ha, b) Mass of a single grain, g, c) No. of grains/m<sup>2</sup>. (2) % of runs when the modified CERES model was better than or equal to the original.

*Table 4.* Mean relative deviations of the modelled plant traits from the observed values (based on 252 runs). (1): see Table 3. (2) Mean relative deviations from the observed values, %. (3) Modified CERES. (4) Original CERES.

*Fig 1.* Resolution of the soil profile in space (index: i) and time (index: j). a) Geometric median of the layers, b) Borderline of the layers. Vertical axis: depth. Horizontal axis: time. H known value,  $\Gamma$  estimated value, © calculated value.

*Fig 2.* Soil moisture values calculated with the modified CERES model (a) and measured (b) (Karcag, lysimeter No. 1). Moisture distribution on the 14<sup>th</sup> (A) and 73<sup>rd</sup> (B) days. Horizontal axis: moisture content, cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>. Vertical axis: depth, cm.